

E. Hambali, A. Suryani, A. Pratomo, P. Permadi,
H. Purnomo dan S. Mujdalipah

KINERJA SURFAKTAN METIL ESTER SULFONAT (MES) SEBAGAI OIL WELL STIMULATION AGENT AKIBAT PENGARUH SUHU, LAMA PEMANASAN, DAN KONSENTRASI ASAM (HCl)

Erliza Hambali¹, Ani Suryani¹, Agus Pratomo², Pudji Permadi³,
Hadi Purnomo⁴ dan Siti Mujdalipah¹

¹Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

²PT. Kondur Petroleum-SA

Departemen Teknologi Perminyakan, ITB

⁴Research & Development, Lemigas

ABSTRACT

Surfactant is a surface active agent that has an ability to reduce interfacial tension (IFT). This ability has been used in an enhanced oil recovery (EOR) process to increase oil well productivity, particularly in chemical stimulation. Methyl ester sulfonate (MES) is an anionic surfactant that can be used to substitute a commercial surfactant for the EOR process. The parameters such as salinity, kind of rock, temperature, pressure, and carrier are important parameters that can influence performance of surfactant in reducing interfacial tension.

The research of $\alpha = 5\%$ and $\alpha = 1\%$ that is based on temperature effect and time of heating showed that temperature increased interfacial tension value. The research of $\alpha = 5\%$ and $\alpha = 1\%$ that is based on temperature effect and acid concentration showed that temperature and acid concentration increased interfacial tension value. The IFT value is affected by temperature and acid concentration.

Keywords : methyl ester sulfonate, interfacial tension, temperature, and acid

PENDAHULUAN

Stimulasi kimia merupakan metode EOR yang dapat digunakan untuk mengatasi kerusakan formasi (*formation damage*). Stimulasi kimia yang umum digunakan adalah stimulasi surfaktan dan stimulasi asam (*acidizing*). Stimulasi kimia dilakukan dengan menginjeksikan bahan kimia (dapat berupa surfaktan ataupun asam) ke dalam reservoir sumur minyak bumi.

Penginjeksian surfaktan ke dalam reservoir dapat memperbaiki kerusakan formasi dengan menurunkan tegangan antar muka antara minyak dan air formasi dan antara minyak dengan batuan. Dengan menurunnya tegangan antar muka, menyebabkan menurunnya tekanan kapiler pada daerah penyempitan pori-pori sehingga *residual oil* yang tertinggal dapat didesak dan diproduksi. Pada stimulasi asam (*acidizing*), asam dapat bereaksi dengan mineral-mineral batuan membentuk pori-pori yang lebih besar. Dengan terbentuknya pori-pori yang semakin besar, diharapkan fluida minyak yang terjebak di dalam pori-pori dapat lebih mudah untuk didesak. Hanya saja penggunaan stimulasi asam menimbulkan masalah lain, yaitu adanya emulsi yang terbentuk ketika asam bertemu dengan fluida reservoir (minyak) dan adanya reaksi antara asam dengan mineral-mineral batuan menghasilkan partikel-partikel yang dapat menyumbat pori-pori. Untuk itu, pada umumnya dalam pelaksanaan

stimulasi asam seringkali ditambahkan bahan aditif sehingga proses stimulasi asam berjalan secara optimal. Salah satu aditif yang dapat ditambahkan adalah surfaktan.

Penggunaan surfaktan sebagai *chemical stimulation agent* sumur minyak bumi haruslah disesuaikan dengan kondisi reservoir dimana surfaktan tersebut akan diaplikasikan. Penelitian aplikasi surfaktan MES untuk *chemical stimulation agent* yang telah kami lakukan adalah: kajian komposisi surfaktan MES sebagai produk akhir dengan konsentrasi MES 30, 50, dan 70 % dan pelarut (bensin, minyak tanah, dan solar) dalam konsentrasi 60, 40, dan 20 %; kajian pengaruh konsentrasi pelarut pembawa atau *carrier fluids* (minyak tanah) dalam konsentrasi 99, 97, dan 95 %; kajian pengaruh komposisi surfaktan nonionik (DEA dan PLE) dan *mutual solvent* (minyak tanah) dengan perbandingan antara surfaktan nonionik dan *mutual solvent* yaitu 3:7, 5:5, dan 7:3. Pengujian kinerja *oil well stimulation agent* dilakukan pada kondisi salinitas 10.000, 20.000, dan 30.000 ppm, kondisi kesadahan 100, 300, dan 500 ppm, kondisi asam 5, 10, dan 15 %, dan suhu 100 °C. Disamping itu juga dilakukan pengkajian ketahanan surfaktan MES terhadap aktivitas bakteri aerob dan anaerob di lingkungan minyak bumi dengan variasi lama inkubasi 0, 1, 3, dan 5 hari.

Berdasarkan hasil pengukuran nilai IFT pada berbagai kondisi kesadahan, menunjukkan adanya

kecenderungan terhadap peningkatan nilai IFT dengan meningkatnya nilai kesadahan. Kisaran nilai IFT yang terukur bervariasi pada kisaran 10^{-3} dyne/cm. Berdasarkan hasil pengukuran nilai IFT pada berbagai kondisi salinitas, menunjukkan adanya kecenderungan terhadap peningkatan nilai IFT dengan meningkatnya nilai salinitas. Kisaran nilai IFT yang terukur bervariasi antara 10^{-2} sampai 10^{-3} dyne/cm. Berdasarkan hasil pengukuran IFT pada berbagai kondisi asam, hasil pengukuran menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan nilai IFT dengan meningkatnya konsentrasi asam. Kisaran nilai IFT yang terukur bervariasi antara 10^{-2} sampai 10^{-3} dyne/cm. Demikian pula berdasarkan hasil pengukuran IFT akibat aktivitas bakteri, hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan nilai IFT dengan penambahan kultur bakteri serta semakin lamanya waktu inkubasi. Kisaran nilai IFT yang terukur bervariasi pada kisaran 10^{-2} dyne/cm.

Disamping parameter di atas, kondisi lingkungan lainnya, diantaranya lama pemanasan dan interaksi antara suhu dan konsentrasi asam akan mempengaruhi efektifitas surfaktan sebagai *oil well stimulation agent*. Hal ini dikarenakan pada proses stimulasi surfaktan, surfaktan dapat kontak dengan suhu reservoir yang tinggi dan untuk periode waktu yang lama. Pada proses stimulasi asam, pemanfaatan surfaktan sebagai aditif, surfaktan, disamping dapat kontak dengan suhu reservoir yang tinggi juga kontak dengan asam sebagai fluida pembawanya. Kajian ketiga parameter tersebut diamati terhadap kemungkinan terjadinya degradasi yang ditinjau dari efektifitas surfaktan dalam menurunkan tegangan antarmuka dan tipe pembentukannya. Menurut Rosen (2004), suhu dan pH larutan akan mempengaruhi degradasi surfaktan. Pada surfaktan yang mengandung gugus ester, degradasi berlangsung lebih cepat dimana surfaktan akan terurai menjadi alkohol dan asam. Kedua produk hasil degradasi ini sangat bersifat tidak aktif permukaan

Penelitian mengenai degradasi surfaktan telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kim *et al* (1982) pada suhu 20 °C hingga 50 °C terhadap nilai IFT surfaktan Tx #1 (purified sodium-para-(8)-hexadecyl-1-benzene-sulfonat) diperoleh bahwa nilai IFT surfaktan Tx #1 mengalami peningkatan dari 2×10^{-3} dyne/cm menjadi 4×10^{-2} dyne/cm.

Berdasarkan penelitian Hu dan Tuvell (1998) mengenai degradasi termal surfaktan α -olefin sulfonat pada suhu 287 °C, setelah pemanasan 99 jam diketahui adanya degradasi termal dari α -olefin sulfonat pada uji hasil degradasi menggunakan HPLC yang ditandai dengan sudah tidak tersisanya sisa zat aktif.

Penelitian lain mengenai degradasi surfaktan dilakukan oleh Kawauchi (1997) terhadap surfaktan

alkyl sulfat pada suhu 121 °C, konsentrasi asam sulfat 2.5 N, 0.5 N, 0.25 N, dan 0,05 N serta lama pemanasan 0, 10, 30, 60, dan 180 menit. Berdasarkan hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa surfaktan alkyl sulfat terhidrolisis menjadi alkohol dan sulfat. Proses hidrolisis surfaktan alkyl sulfat berlangsung semakin cepat dengan bertambahnya konsentrasi asam dan semakin lamanya waktu pemanasan.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah surfaktan metil ester sulfonat yang terbuat dari minyak inti sawit. Bahan kimia yang digunakan untuk proses produksi surfaktan MES adalah Natrium bisulfit, metanol, dan NaOH.

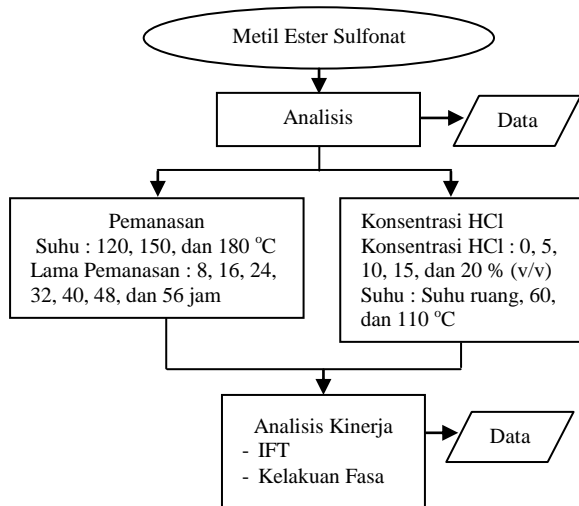
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor sulfonasi, *vortex mixer*, *hotplate stirrer*, tangki pemurnian, termometer, timbangan analitik, peralatan gelas, pipet, dan oven. Peralatan yang digunakan untuk analisa yaitu *spinning drop interfacial tensiometer* dan pH meter.

Persiapan Bahan

Tahap awal penelitian ini dilakukan dengan membuat surfaktan metil ester sulfonat (MES) yang bersifat *oil soluble* pada reaktor sulfonasi dengan sistem *batch*. Penambahan NaHSO_3 dilakukan setelah suhu mencapai 40 °C dan waktu reaksi dihitung setelah suhu mencapai 100 °C selama 4,5 jam. Setelah itu dilanjutkan dengan mensentrifugasi MES yang diperoleh pada kecepatan 1500 rpm selama 30 menit untuk memisahkan Natrium bisulfit yang diperkirakan masih ada. Selanjutnya dilakukan proses pemurnian dengan menambahkan metanol sebanyak 35 % (v/v) pada suhu 50 °C selama 1,5 jam. Untuk *recovery* metanol, reaksi dilanjutkan selama 10 menit pada suhu 80 °C. MES yang telah dimurnikan, kemudian di netralkan pH-nya dengan menambahkan NaOH 20 % hingga diperoleh pH netral dan selanjutnya dipanaskan selama 30 menit pada suhu 55 °C. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 1.

Tahap-Tahap Penelitian

Penelitian ini dibagi atas dua tahapan. Tahap pertama yaitu, pengamatan terhadap faktor suhu dan lama pemanasan terhadap nilai IFT. Sedangkan tahapan kedua adalah pengamatan terhadap faktor suhu dan konsentrasi asam terhadap nilai IFT.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Faktor Suhu dan Lama Pemanasan

Penelitian mengenai faktor suhu dan lama pemanasan dilakukan dengan memanaskan surfaktan didalam oven. Surfaktan sebanyak 5 ml dimasukkan ke dalam 7 tabung reaksi dan kemudian ditutup untuk mengurangi adanya oksigen yang dapat bereaksi dengan surfaktan. Sampel yang telah disiapkan kemudian dimasukkan kedalam oven setelah suhu oven mencapai suhu yang telah ditetapkan yaitu 120, 150, dan 180 °C. Surfaktan dipanaskan di dalam oven selama 8, 16, 24, 32, 40, 48, dan 56 jam.

Faktor Suhu dan Konsentrasi Asam (HCl)

Penelitian mengenai faktor suhu dan konsentrasi asam HCl dilakukan dengan terlebih dahulu membuat larutan surfaktan dalam konsentrasi 1 % (b/b) didalam larutan HCl yang telah ditetapkan (0, 5, 10, 15, dan 20 % (v/v)). Larutan surfaktan kemudian direaksikan didalam reaktor berlingan tiga selama 6 jam pada suhu yang telah ditentukan. Untuk suhu 60 dan 110 °C, waktu reaksi dihitung setelah suhu mencapai suhu tersebut.

Rancangan Percobaan

Faktor Suhu dan Lama Pemanasan

Penelitian ini melibatkan 2 faktor yang terdiri dari :

- Faktor suhu (A) dengan taraf faktor : 120, 150, dan 180 °C.
- Faktor lama pemanasan (B) dengan taraf faktor : 8, 16, 24, 32, 40, 48, dan 56 jam.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap faktorial dengan 2 faktor. Model rancangan percobaannya adalah :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

Keterangan :

Y_{ij} = variabel respon yang dianalisis, nilai pengamatan pengaruh suhu ke-i dan lama pemanasan ke-j pada ulangan ke-k

μ = nilai rata-rata sebenarnya

A_i = pengaruh perlakuan suhu pada taraf ke-i

B_j = pengaruh perlakuan lama pemanasan pada taraf ke-j

AB_{ij} = pengaruh interaksi faktor A ke-i dan faktor B ke-j

$\epsilon_{k(ij)}$ = kekeliruan berupa pengaruh acak dari unit eksperimen ke-k dalam kombinasi perlakuan (ij)

Faktor Suhu dan Konsentrasi Asam (HCl)

Penelitian ini melibatkan 2 faktor yang terdiri dari :

- Faktor suhu (C) dengan taraf faktor : suhu ruang, 60, dan 110 °C.
- Faktor konsentrasi asam HCl (D) dengan taraf faktor : 0, 5, 10, 15, dan 20 %.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap faktorial dengan 2 faktor. Model rancangan percobaannya adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + D_j + (CD)_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

Keterangan :

Y_{ij} = variabel respon yang dianalisis, nilai pengamatan pengaruh suhu ke-i dan konsentrasi asam (HCl) ke-j pada ulangan ke-k

μ = nilai rata-rata sebenarnya

C_i = pengaruh perlakuan suhu pada taraf ke-i

D_j = pengaruh perlakuan konsentrasi asam (HCl) pada taraf ke-j

CD_{ij} = pengaruh interaksi pengaruh faktor C ke-i dan faktor D ke-j

$\epsilon_{k(ij)}$ = kekeliruan berupa pengaruh acak dari unit eksperimen ke-k dalam kombinasi perlakuan (ij)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES)

Pada penelitian ini, surfaktan MES yang digunakan merupakan hasil sulfonasi metil ester minyak inti sawit Metil ester sulfonat yang dihasilkan mampu menurunkan nilai tegangan antar muka minyak-air dari nilai normal IFT minyak-air 30 dyne/cm (Tim Lemigas, 2002), menjadi $1,58 \times 10^{-2}$ dyne/cm, atau turun sekitar 99,95 %. Pada kondisi ini, fasa yang terbentuk antara minyak-surfaktan-air adalah fasa atas atau tipe II(+). Pembentukan fasa

atas memperlihatkan bahwa surfaktan metil ester sulfonat (MES) yang dihasilkan bersifat lebih larut dalam minyak, dengan demikian akan lebih mudah untuk menarik minyak yang berada pada permukaan batuan.

Tegangan Antar Muka (IFT)

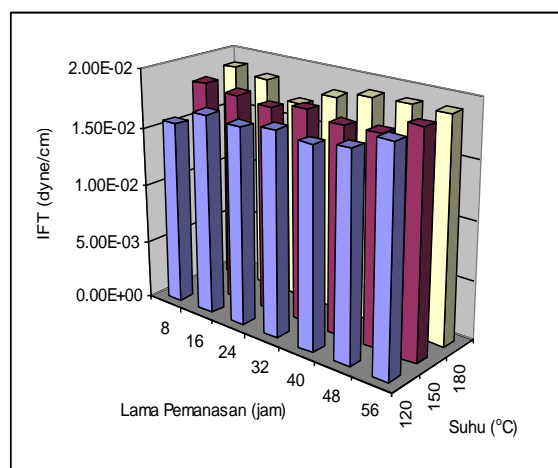
Faktor Suhu dan Lama Pemanasan

Penelitian mengenai kajian stabilitas surfaktan MES akibat pengaruh suhu dan lama pemanasan dilakukan pada tingkat suhu 120, 150 dan 180 °C dan dengan lama pemanasan 8, 16, 24, 32, 40, 48, dan 56 jam. Hasil sidik ragam menunjukkan adanya pengaruh suhu pemanasan terhadap nilai tegangan antar muka yang dihasilkan oleh surfaktan MES. Pada tingkat kepercayaan 99 persen, suhu pemanasan berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai tegangan antar muka (IFT). Suhu pemanasan memberikan pengaruh negatif terhadap nilai IFT, dimana nilai IFT meningkat dari $1,58 \times 10^{-2}$ dyne/cm menjadi $1,903 \times 10^{-2}$ dyne/cm. Selanjutnya diketahui bahwa lama pemanasan, baik pada tingkat kepercayaan 99 maupun 95 persen, lama pemanasan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai IFT. Demikian pula dengan interaksi antara suhu dan lama pemanasan, interaksi suhu dan lama pemanasan tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai IFT. Hasil uji lanjut Duncan terhadap suhu pemanasan menunjukkan bahwa suhu pemanasan pada 120 °C memberikan pengaruh yang berbeda dengan suhu pemanasan pada 150 °C dan 180 °C, sedangkan suhu pemanasan 150 °C dan 180 °C memberikan pengaruh yang tidak berbeda.

Suhu pemanasan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai IFT dikarenakan suhu akan mempengaruhi kecepatan reaksi degradasi surfaktan MES. Suhu dapat mempercepat terjadinya reaksi dengan memperluas distribusi energi dan memperbanyak jumlah molekul-molekul yang memiliki energi kinetik lebih tinggi dari pada energi aktivasi-nya. Pada suhu yang lebih tinggi energi terdistribusi lebih luas sehingga semakin banyak jumlah molekul-molekul yang memiliki energi kinetik melebihi dari energi aktivasi-nya. Pada kondisi ini memungkinkan semakin besarnya peluang untuk terjadinya tumbukan dan dengan demikian akan mempercepat terjadinya reaksi penguraian MES. Histogram hubungan antara suhu, lama pemanasan, dan nilai IFT disajikan pada Gambar 2.

Nilai IFT yang dihasilkan oleh surfaktan MES semakin meningkat seiring dengan semakin tingginya suhu pemanasan. Kondisi perlakuan pada suhu 120 °C selama 8 jam menghasilkan nilai IFT terendah dengan nilai tegangan antar muka sebesar $1,57 \times 10^{-2}$ dyne/cm. Nilai IFT tertinggi dicapai oleh kondisi perlakuan pada suhu pemanasan 180 °C

dengan lama pemanasan selama 56 jam, dengan nilai tegangan antar muka sebesar $1,90 \times 10^{-2}$ dyne/cm. Kenaikan nilai IFT diduga akibat terjadinya degradasi termal seperti yang terjadi pada surfaktan alfa olefin sulfonat yang diteliti oleh Hu dan Tuvell (1998). Degradasi termal menyebabkan terjadinya desulfonasi ikatan C-S pada struktur surfaktan MES yang ditandai dengan perubahan tinggi peak gugus sulfonat. Proses degradasi ini terjadi semakin cepat seiring dengan meningkatnya suhu pemanasan. Pemanasan pada suhu 180 °C memiliki kecenderungan nilai IFT yang lebih tinggi daripada pemanasan MES pada suhu 120 dan 150 °C.



Gambar 2. Histogram nilai tegangan antar muka (IFT) akibat pengaruh faktor suhu dan lama pemanasan

Berdasarkan uji hasil degradasi menggunakan HPLC yang dilakukan oleh Hu dan Tuvell (1988), hasil uji menunjukkan bahwa surfaktan α -olefin sulfonat mengalami degradasi termal yang ditandai dengan penurunan peak pada 3-hidroksitetradecan 1-sulfonat dari 9,8 dan 10,5 menjadi 0,16 dan 0,6 setelah pemanasan selama 99 jam pada suhu 287 °C dan sisa zat aktif sudah tidak tersisa. Hal ini disebabkan hasil degradasi akan memecah surfaktan menjadi senyawa-senyawa lain seperti methyl keton, asam sulfat, sulton dan senyawa-senyawa yang memiliki berat molekul yang lebih kecil terutama pada alkene sulfonat dimana ikatan C-S menjadi lemah.

Degradasi surfaktan menyebabkan surfaktan surfaktan MES menjadi kurang bersifat aktif permukaan. Walaupun demikian, surfaktan MES masih mampu menurunkan tegangan antar muka hingga 10^{-2} dyne/cm. Hal ini mungkin dikarenakan degradasi termal yang terjadi berjalan lambat karena tidak adanya penambahan bahan lain seperti asam, basa, dan penggunaan suhu pemanasan yang lebih rendah dari kisaran suhu terjadinya termal degradasi pada surfaktan alfa olefin sulfonat yaitu 287 °C.

Nilai tegangan antar muka (IFT) yang dihasilkan oleh surfaktan MES masih dapat dikatakan baik,

karena pada pemanasan 180 °C selama 56 jam dan pada tingkat konsentrasi MES 1 % (b/b), surfaktan MES masih dapat menurunkan nilai IFT hingga $1,9 \times 10^{-2}$ dyne/cm. Nilai ini jauh lebih baik dibandingkan dengan surfaktan Tx #1 yang dilakukan oleh Kim *et al* (1982). Pada suhu 50 °C surfaktan Tx #1 pada konsentrasi 1,76 % (b/b) yang telah ditambahkan cosurfaktan (3,52 %) sebagai pembantu untuk menurunkan IFT dan dilarutkan dalam air garam pada konsentrasi 0,75 % (%b/b) hanya mampu menurunkan tegangan antar muka sebesar 4×10^{-2} dyne/cm. Hal ini menunjukkan bahwa surfaktan MES memiliki stabilitas terhadap panas yang lebih baik.

Faktor Suhu dan Konsentrasi Asam

Penelitian mengenai kajian stabilitas surfaktan MES akibat pengaruh konsentrasi asam dilakukan pada tingkat konsentrasi 0, 5, 10, 15, dan 20 %. Disamping konsentrasi asam, pada kajian ini, konsentrasi asam dikombinasikan dengan suhu reaksi yang dilakukan pada tingkat suhu ruang, 60, dan 110 °C. Ini dikarenakan, ketika diinjeksikan ke dalam reservoir, surfaktan disamping akan berinteraksi dengan asam juga akan berinteraksi dengan suhu reservoir. Menurut Taber *et al* (1997), injeksi surfaktan akan optimal pada suhu dibawah 200 °F (94 °C) walaupun injeksi surfaktan dapat juga diaplikasikan pada suhu lebih tinggi dari suhu tersebut dan pada umumnya penginjeksian surfaktan yang telah banyak dilakukan adalah pada suhu 80 °F (27 °C).

Hasil sidik ragam menunjukkan adanya pengaruh suhu pemanasan dan konsentrasi asam HCl terhadap nilai IFT yang dihasilkan oleh surfaktan MES. Pada tingkat kepercayaan 99 persen, suhu pemanasan dan konsentrasi asam HCl berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai IFT. Semakin tinggi suhu pemanasan berpengaruh negatif terhadap nilai IFT. Demikian pula dengan semakin besarnya konsentrasi asam HCl, kenaikan konsentrasi asam HCl memberikan pengaruh negatif terhadap nilai IFT, dimana nilai IFT meningkat hingga mencapai nilai $3,783 \times 10^{-2}$ dyne/cm. Namun demikian, interaksi antara suhu dan konsentrasi asam tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai IFT, baik pada tingkat kepercayaan 99 persen maupun 95 persen.

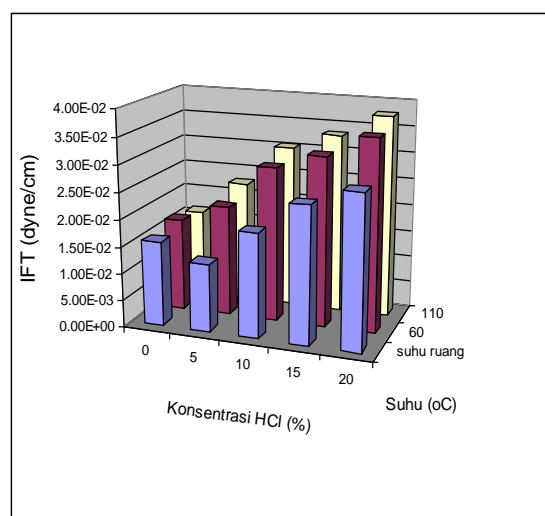
Hasil uji lanjut Duncan terhadap suhu pemanasan menunjukkan bahwa suhu pemanasan pada suhu kamar memberikan pengaruh yang berbeda dengan suhu pemanasan pada suhu 60 °C dan suhu 110 °C, sedangkan suhu pemanasan 60 °C dan suhu 110 °C memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata.

Hasil uji lanjut Duncan terhadap konsentrasi asam HCl menunjukkan bahwa konsentrasi asam

pada tingkat 0 % dan 5 % tidak memberikan pengaruh yang berbeda, namun memberikan pengaruh yang berbeda dengan konsentrasi asam pada tingkat 10, 15, dan 20 %. Konsentrasi asam pada tingkat 10 % memberikan pengaruh yang berbeda dengan konsentrasi asam pada tingkat 0, 5, 15, dan 20 %. Konsentrasi asam pada tingkat 15 % memberikan pengaruh yang berbeda dengan konsentrasi asam pada tingkat 0, 5, 10, dan 20 %. Konsentrasi asam pada tingkat 20 % memberikan pengaruh yang berbeda dengan konsentrasi asam pada tingkat 0, 5, 10, dan 15 %.

Suhu reaksi memberikan pengaruh yang berbeda pada nilai IFT yang dihasilkan. Hal ini karena suhu akan mempengaruhi kecepatan reaksi terjadinya penguraian surfaktan MES dengan meningkatkan energi kinetik dan meningkatkan jumlah molekul-molekul yang memiliki energi kinetik melebihi energi aktivasinya. Demikian pula halnya dengan konsentrasi asam, namun perbedaan nilai IFT lebih terlihat pada kenaikan konsentrasi asam. Ini menunjukkan bahwa konsentrasi asam sangat berperan dalam meningkatkan kecepatan reaksi terurainya surfaktan MES. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa dengan semakin tinggi konsentrasi asam, maka semakin banyak molekul asam yang terdapat dalam sistem. Meningkatnya jumlah molekul asam memungkinkan semakin besarnya peluang terjadinya tumbukkan antara molekul asam dan surfaktan MES, dan dengan demikian semakin cepat reaksi penguraian yang terjadi.

Histogram hubungan antara suhu, konsentrasi asam (HCl), dan nilai tegangan antar muka (IFT) disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Histogram nilai tegangan antar muka (IFT) akibat pengaruh faktor suhu dan konsentrasi asam (HCl)

Nilai tegangan antar muka (IFT) yang dihasilkan oleh surfaktan MES pada umumnya semakin

meningkat seiring dengan semakin tingginya suhu pemanasan dan semakin besarnya konsentrasi asam HCl yang digunakan. Pada kondisi perlakuan suhu pada suhu kamar dengan konsentrasi asam HCl 5 % menghasilkan nilai tegangan antar muka terendah dengan nilai tegangan antar muka sebesar $1,274 \times 10^{-2}$ dyne/cm. Nilai tegangan antar muka tertinggi dicapai pada kondisi perlakuan suhu pemanasan 110 °C dengan konsentrasi asam HCl 20%, dengan nilai tegangan antar muka sebesar $3,783 \times 10^{-2}$ dyne/cm. Peningkatan nilai IFT diduga akibat terjadinya penguraian surfaktan MES yaitu hidrolisis desulfonasi seperti yang terjadi pada surfaktan alkyl sulfat yang diteliti oleh Kawauchi (1997). Pada hidrolisis desulfonasi, surfaktan terhidrolisis membentuk asam sulfat. Tingginya suhu pemanasan dan semakin besarnya konsentrasi asam HCl yang digunakan akan mempengaruhi kecepatan desulfonasi tersebut. Semakin tinggi suhu pemanasan, maka reaksi hidrolisis terjadi semakin cepat dan dengan demikian semakin banyak MES yang terurai. Kecepatan reaksi terjadinya hidrolisispun akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi asam HCl yang digunakan.

Dari hasil penelitian Kawauchi (1997), proses hidrolisis surfaktan alkyl sulfat tergantung pada konsentrasi asam. Proses hidrolisis surfaktan alkyl sulfat yang dilakukan pada suhu 121 °C berlangsung semakin cepat dengan bertambahnya konsentrasi asam dan semakin lamanya waktu pemanasan. Kecepatan hidrolisis mencapai seratus persen pada menit ke-60 untuk konsentrasi asam H_2SO_4 0.05 N dan menit ke-10 untuk konsentrasi asam H_2SO_4 2.5 N, 0.5 N dan 0.25 N. Disamping itu juga dilaporkan bahwa terdapat sejumlah asam sulfat yang terbentuk dari pemanasan detergent yang mengandung surfaktan LAS pada suhu 121 °C selama 2 jam di dalam autoclave.

Disamping reaksi desulfonasi juga diduga terjadi reaksi hidrolisis gugus ester pada ester hasil desulfonasi membentuk asam dan alkohol. Reaksi hidrolisis gugus ester diduga terjadi setelah terjadinya desulfonasi. Ini dikarenakan ion H^+ akan cenderung menyerang atom O terlebih dahulu yang membentuk ikatan ganda dengan atom S. Ini dimungkinkan karena struktur ikatan ganda walaupun mempunyai energi ikatan yang lebih besar dari energi ikatan tunggal, namun struktur ikatan ganda bersifat labil. Sifat ini dikarenakan masing-masing ikatan pada ikatan ganda saling tegak lurus (Ketaren, 1986). Disamping itu gugus sulfonat bersifat lebih elektronegatif sehingga akan lebih cenderung menarik elektron dari luar.

Proses hidrolisis ikatan C-S dan gugus ester yang terjadi pada surfaktan MES membentuk asam dan alkohol diduga mengurangi sifat aktif permukaannya. Walaupun demikian surfaktan MES masih dapat menurunkan tegangan antar muka hingga

mencapai 10^{-2} dyne/cm. Ini diduga, masih adanya surfaktan MES yang tidak terhidrolisis.

Nilai IFT pada kajian akibat pengaruh konsentrasi asam dan suhu terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan nilai IFT akibat pengaruh suhu dan lama pemanasan walaupun suhu yang digunakan pada kajian ini jauh lebih rendah. Hal ini diduga kecepatan degradasi surfaktan MES terjadi lebih cepat dengan adanya HCl yang dapat berperan sebagai katalisator dalam proses hidrolisis. Suatu reaksi akan berjalan lebih cepat dengan adanya katalis dibandingkan dengan tanpa adanya katalis pada kondisi yang sama. Katalis dapat mempercepat reaksi dengan merubah tahap reaksi yang terjadi menjadi lebih sederhana dan menurunkan energi aktivasi. Energi aktivasi adalah energi kinetik minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukkan molekul-molekul sehingga dapat terjadi suatu reaksi.

Berdasarkan perbandingan dengan surfaktan stimsol (surfaktan komersial), nilai tegangan antar muka (IFT) yang dihasilkan oleh surfaktan MES jauh lebih besar jika dibandingkan dengan surfaktan komersial yang mampu menghasilkan nilai IFT hingga 10^{-3} . Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan struktur dari surfaktan komersial yang digunakan dimana surfaktan komersial yang digunakan merupakan turunan dari petroleum yang memiliki struktur cincin. Disamping itu juga dikarenakan adanya bahan tambahan lain dalam surfaktan komersial sehingga bersifat stabil terhadap asam. Perbandingan nilai IFT MES dan surfaktan komersial disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Tegangan Antar Muka MES dan Surfaktan Komersial

Konsentrasi HCl (% v/v)	IFT (dyne/cm)	
	MES	Surfaktan Komersial
0	$1,58 \times 10^{-2}$	$1,69 \times 10^{-2}$
5	$1,27 \times 10^{-2}$	$0,72 \times 10^{-2}$
10	$1,95 \times 10^{-2}$	$0,18 \times 10^{-2}$
15	$2,54 \times 10^{-2}$	$0,48 \times 10^{-2}$
20	$2,85 \times 10^{-2}$	$0,24 \times 10^{-2}$

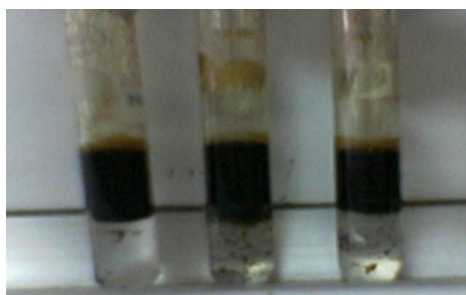
Kelakuan Fasa

Kelakuan fasa campuran minyak, surfaktan, dan air formasi merupakan salah satu parameter penting lainnya yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan EOR. Uji kelakuan fasa ditujukan untuk mengetahui tipe fasa yang terbentuk dari campuran minyak, surfaktan dan air yaitu tipe fasa II(-), tipe III, atau tipe II(+). Pada penggunaan surfaktan sebagai *oil well stimulation agent* baik pada stimulasi surfaktan ataupun pada stimulasi asam, diharapkan paling tidak fasa yang terbentuk adalah

tipe II(+) atau fasa atas. Pada kondisi ini fasa yang terbentuk hanya terdiri dari dua fasa dan emulsi terjadi pada fasa atas (minyak) dengan kelebihan fasa air (*excess water*).

Faktor Suhu dan Lama Pemanasan

Hasil uji semua kelakuan fasa dalam faktor suhu pemanasan dan lama pemanasan menunjukkan fasa atas. Hal ini menunjukkan bahwa surfaktan MES dapat berfungsi sebagai *chemical stimulation agent* karena dapat mengubah *wettability* batuan dari *oil wet* menjadi *water wet*. Hasil uji kelakuan fasa disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 4.



Gambar 4. Kelakuan fasa atas surfaktan MES.

Hasil uji pada Tabel 2, menunjukkan bahwa kondisi perlakuan tidak memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kelakuan fasa. Kelakuan fasa perlakuan suhu 120 °C pada lama pemanasan 8, 16, 24, 32, 40, 48, dan 56 jam tidak berbeda dengan kelakuan fasa yang terbentuk pada kondisi perlakuan baik suhu pemanasan 150 °C dengan lama pemanasan 8, 16, 24, 32, 40, 48, dan 56 jam ataupun pada suhu pemanasan 180 °C dengan lama pemanasan 8, 16, 24, 32, 40, 48, dan 56 jam. Kelakuan fasa yang terbentuk pada semua perlakuan adalah tipe II(+), dimana emulsi terjadi pada fasa atas. Pembentukan emulsi fasa atas memperlihatkan bahwa surfaktan bersifat lebih larut dalam minyak. Dengan demikian surfaktan dapat mengikat minyak hingga minyak dapat terlepas dari batuan. Kondisi ini menyebabkan perubahan sifat kebasahan batuan menjadi *water wet*.

Faktor Suhu dan Konsentrasi Asam

Tipe pembentuk fasa yang terbentuk antara surfaktan, minyak dan larutan asam pada pelaksanaan stimulasi menjadi sangat penting karena reaksi antara asam dengan air formasi dapat menyebabkan terbentuknya emulsi. Hal tersebut dikarenakan air formasi mengandung zat-zat kimia seperti *asphaltane* yang bersifat menstabilkan emulsi. Semakin tinggi konsentrasi asam yang digunakan, semakin tinggi kecenderungan terbentuknya emulsi.

Tabel 2. Sifat kelakuan fasa surfaktan akibat faktor pemanasan dan lama pemanasan.

Perlakuan	Kelakuan Fasa
T1L1	Fasa atas
T1L2	Fasa atas
T1L3	Fasa atas
T1L4	Fasa atas
T1L5	Fasa atas
T1L6	Fasa atas
T1L7	Fasa atas
T2L1	Fasa atas
T2L2	Fasa atas
T2L3	Fasa atas
T2L4	Fasa atas
T2L5	Fasa atas
T2L6	Fasa atas
T2L7	Fasa atas
T3L1	Fasa atas
T3L2	Fasa atas
T3L3	Fasa atas
T3L4	Fasa atas
T3L5	Fasa atas
T3L6	Fasa atas
T3L7	Fasa atas

Keterangan :

- T1 = Suhu 120°C
- T2 = Suhu 150 °C
- T3 = Suhu 180 °C
- L1 = Lama Pemanasan 8 jam
- L2 = Lama Pemanasan 16 jam
- L3 = Lama Pemanasan 24 jam
- L4 = Lama Pemanasan 32 jam
- L5 = Lama Pemanasan 40 jam
- L6 = Lama Pemanasan 48 jam
- L7 = Lama Pemanasan 56 jam

Uji kelakuan fasa campuran minyak-surfaktan-asam bertujuan untuk mengetahui *compatibility* atau kecocokan antara surfaktan sebagai aditif pada stimulasi asam dimana diharapkan terbentuknya fasa atas. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Savitri (1998) bahwa surfaktan dikatakan *compatible* jika surfaktan tersebut dapat memecahkan emulsi yang terbentuk antara asam dengan fluida formasinya. Surfaktan yang baik dapat memecahkan emulsi seratus persen secara bersih, yaitu terpisahnya minyak dengan larutan asamnya sehingga membentuk fasa atas. Hasil uji kelakuan fasa campuran surfaktan MES, minyak, dan asam disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 5.

Uji kelakuan fasa surfaktan dalam faktor suhu pemanasan dan konsentrasi asam yang dilakukan menunjukkan bahwa semua perlakuan tidak memberikan hasil yang berbeda kecuali perlakuan pada suhu ruang dengan konsentrasi asam HCl 0%, sedangkan kondisi perlakuan pada suhu ruang, suhu

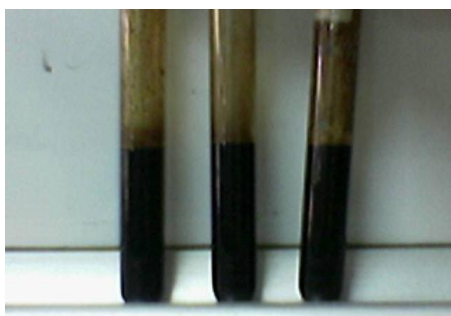
60 °C ataupun suhu 110 °C dengan tingkat konsentrasi asam HCl 5, 19, 15, dan 20 % membentuk kelakuan fasa yang tidak berbeda, yaitu terbentuknya makroemulsi. Terbentuknya makroemulsi memperlihatkan bahwa surfaktan MES menjadi tidak *compatible* dengan fluida minyak bila ada HCl dalam air formasi walaupun surfaktan MES mampu menurunkan tegangan antar muka hingga 10^{-2} dyne/cm. Terbentuknya makroemulsi, dapat diduga karena surfaktan MES berkurang efektifitasnya sebagai bahan penurun tegangan antarmuka karena adanya HCl.

Tabel 3. Uji kelakuan fasa surfaktan MES akibat pengaruh suhu dan konsentrasi asam (HCl).

Perlakuan	Kelakuan Fasa
T1A0	Fasa Atas
T1A1	Makroemulsi
T1A2	Makroemulsi
T1A3	Makroemulsi
T1A4	Makroemulsi
T2A0	Makroemulsi
T2A1	Makroemulsi
T2A2	Makroemulsi
T2A3	Makroemulsi
T2A4	Makroemulsi
T3A0	Makroemulsi
T3A1	Makroemulsi
T3A2	Makroemulsi
T3A3	Makroemulsi
T3A4	Makroemulsi

Keterangan :

- T1 = Suhu ruang
- T2 = Suhu 60 °C
- T3 = Suhu 110 °C
- A0 = Konsentrasi asam HCl 0 %
- A1 = Konsentrasi asam HCl 5 %
- A2 = Konsentrasi asam HCl 10%
- A3 = Konsentrasi asam HCl 15%
- A4 = Konsentrasi asam HCl 20%



Gambar 5. Pembentukan makroemulsi minyak surfaktan MES-asam

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan kriteria nilai tegangan antar muka (IFT) minyak-air, dapat disimpulkan bahwa kinerja surfaktan MES dalam menurunkan nilai tegangan antar muka (IFT) minyak-air dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi asam. Peningkatan suhu pemanasan dalam faktor suhu dan lama pemanasan berpengaruh negatif terhadap nilai IFT, dimana nilai IFT meningkat dari $1,58 \times 10^{-2}$ dyne/cm menjadi $1,903 \times 10^{-2}$ dyne/cm. Demikian pula dengan peningkatan suhu dalam faktor suhu dan konsentrasi asam (HCl). Disamping itu diperoleh bahwa semakin besar konsentrasi asam HCl memberikan pengaruh negatif terhadap nilai IFT. Pada perlakuan suhu dan konsentrasi asam, nilai IFT meningkat hingga mencapai nilai $3,783 \times 10^{-2}$ dyne/cm.

Berdasarkan uji kelakuan fasanya, faktor suhu pemanasan dan lama pemanasan tidak memberikan pengaruh yang berbeda, dimana fasa yang terbentuk adalah tipe II(+). Demikian pula dalam faktor suhu dan konsentrasi asam HCl, perlakuan MES pada suhu 60 dan 110 °C dan konsentrasi asam HCl 5, 10, 15, dan 20 % membentuk makroemulsi.

Saran

Perlu dikaji lebih lanjut penambahan aditif untuk pemanfaatan surfaktan MES pada stimulasi asam HCl.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, T.O. dan A.P. Roberts. 1993. *Production Operations 2 : Well Completions, Workover, and Stimulation*. Oil & Gas Consultants International (OGCI), Inc., Tulsa, Oklahoma, USA.
- Gomaa, E.E. 1997. *Enhanced Oil Recovery : Modern Management Approach*. Paper for IATMI-IWPL/MIGAS Conference, Surakarta, 28 Juli-1 Agustus 1997.
- Hu, P.C and M.E. Tuvell. 1998. *A Mechanistic Approach to the Thermal Degradation of Alfa Olefin Sulfonates*. JAOAC, vol. 65:6 (1007)
- Kawauchi, A. 1997. *Non Solvent Quantitation of Anionic Surfactant and Inorganic Ingredients in Laundry Detergent Product*. JAOAC, Vol. 74:7 (787)
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak Lemak*. UI-Press, Jakarta.
- Kim, W.M., J.S. Huang, and J. Bock. 1982. *Interfacial Light Scattering Study in Microemulsions*. Paper for SPE/DOE Third Joint Symposium on EOR, Tulsa, Oklahoma, 4-7 April 1982.

- Rieger, M. M. (Ed). 1985. *Surfactant in Cosmetics*. Surfactant science series, Marcel Dekker, Inc. New York. 488 p.
- Rosen, J. Milton. 2004. *Surfactant and Interfacial Phenomena*. Third edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Savitri, N. E. 1998. *Optimasi Pemakaian Acid Additive pada Pengasaman Matriks di Zone B-28, MR-27, Baturaja, dan MB-30 Lapangan Ardjuna (ARII)*. Jurusan Teknologi Pertambangan dan Mineral, Trisakti, Jakarta.
- Taber, J.J., F.D. Martin, and R.S. Seright. 1997. *EOR Screening Criteria Revisited-Part 1: Introduction to Screening Criteria and Enhanced Recovery Field Project*. Paper for SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, 21-24 April 1997.
- Talley, L.D. 1996. *Hydrolytic Stability of Alkylethoxy Sulfate*. Paper for SPE/DOE Fifth Symposium on EOR, Tulsa, Oklahoma, 20-23 April 1996.
- Thamrin, M.K. dan Rachmat Sudibjo. 1992. *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Pende-sakan Surfaktan*. Proceedings Diskusi Ilmiah VII Hasil Penelitian Lemigas, Jakarta, 11-13 Februari 1992.
- Tim Lemigas. 2002. *Studi Awal Implementasi Injeksi Kimia di Formasi Talang Akar Struktur Talang Akar Pendopo Lapangan Prabumulih: Penentuan Parameter Batuan, Fluida reservoir dan rancangan Fluida Injeksi*. Laporan Penelitian Lemigas, Jakarta.
- Watkins, C. 2001. *All Eyes are on Texas*. Inform 12 : 1152-1159.